DOI:10.11931/guihaia.gxzw201904020

未来气候变化对四种木姜子地理分布的影响

郑维艳[1]，曹坤芳[2*]

（1. 广西大学 林学院，广西森林生态与保育重点实验室，南宁 530004；2. 广西大学 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室，南宁 530004）

摘要：利用最大墒模型(Maxent)和地理信息系统(ArcGIS 10.3)软件对中国木姜子属四种资源植物在我国当代、未来（2061—2080）气候条件下的潜在分布区进行预测，并对其适生区进行分析和划分。结果表明：山鸡椒（*Litsea cubeba*）适生区广泛分布在长江以南区域，在未来时段 2061—2080 年两种（RCP2.6、RCP8.5）二氧化碳浓度情景下适生区面积分别减少 4.9%和 0.5%；毛豹皮樟（*Litsea coreana*）适生区主要分布在中亚热带及北亚热带区域，分布相对偏北，其在未来 2061—2080 年两种二氧化碳浓度情景下适生区面积分别增加 5.6%和 4.5%；华南木姜子（*Litsea greenmaniana*）适生区主要分布在我国南亚热带区域；毛叶木姜子（*Litsea mollis*）适生区广泛分布在亚热带区域。这两种树种在未来气候 RCP2.6 情景下适生面积减少 1.0%和 3.3%，在 RCP8.5 情景下减少 5.6%和 8.3%。上述结果说明木姜子属不同种由于生态习性差异对未来的气候变化的响应不尽相同，对这些植物引种栽培须考虑气候变化的影响。

关键词：Maxent 模型，木姜子属，气候变化，分布格局，适宜区

中图分类号：Q948.15 **文献标识码：**A

Impact of future climate change on the potential geographical distribution of four *Litsea* species in China

ZHENG Weiyan[1], CAO Kunfang[2*]

（1. *Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation*, *College of Forestry*, *Guangxi University*, Nanning 530004,China;
2. *State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources*, *Guangxi University*, Nanning 530004,China）

Abstract: In this paper, the maximum entropy model (Maxent) and geographic information system (ArcGIS 10.3) software were used to predict the potential distribution areas of four *Litsea* species under the current and future climate conditions of China (2061-2080), and to analyze and classify their suitable habitats. *Litsea cubeba* is widely distributed in the south to the Yangtze River in China. Under the future climate with two (RCP2.6, RCP8.5) carbon dioxide concentrations, during 2061—2080 the suitable area for its distribution is reduced by 4.9%and 0.5%, respectively. *Litsea coreana* is mainly distributed in central and northern subtropical regions of China. Under the climate scenarios with two carbon dioxide concentrations, in 2061—2080 the total suitable area would be increased by 5.6% and 4.5%, respectively. *Litsea greenmaniana* is mainly distributed in the south subtropical regions of China；*Litsea mollis* is widely distributed in the subtropical region. Under the future climate RCP2.6 scenarios, the suitable area of the two species would be shrinked by 1.0% and 3.3%, respectively, and under the climate RCP8.5, the suitable area of the two species would be shrinked by 5.6% and 8.3%, respectively. These results reveal that due to different ecological requirements, *Litsea* species will have different distributional responses to the future climate. The introduction and cultivation of *Litsea* species should consider the influences of climate change.

Key words：Maximum entropy model, *Litsea*, climate change, distribution pattern, suitable area

植被与气候之间的关系已成为全球变化研究的一个重要领域。气候是预测树木与植被类型分布的主要因子，并

基金项目：国家重点研发计划子课题（2016YFC0502101-04）；广西重点研发计划项目（桂科 AB16380254）；“八桂学者”人才项目（C33600992001）[Supported by a Subproject of National Key Research and Development Program(2016YFC0502101-04); Guangxi Key Research and Development Program(Guike AB16380254); Guangxi Bagui Scholar Talent Project (C33600992001)]。

作者简介：郑维艳（1992-），女，贵州遵义人，硕士研究生，研究方向为群落生态学，(E-mail)1476391733@qq.com。

***通信作者：**曹坤芳，博士，研究员，主要从事植物生理生态与进化，(E-mail) kunfangcao@gxu.edu.cn。

与其他驱动因素相互作用影响森林的功能和动态过程（Boisvert-Marsh et al., 2014）。气候的历史性变化促成了当前物种的分布格局，未来的气候变化也将对其产生直接影响（Veloz et al., 2012; Thuiller et al., 2011; Bellard et al., 2012）。根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告预测未来全球气候将继续变暖，全球平均气温将在 21 世纪末上升 0.3~4.8 ℃（Allen et al., 2007）。未来全球变暖会不同程度的影响中国的极端天气和气候，为了制定适应气候变化的对策，需要预测气候变化对物种潜在分布格局的影响。

关于气候变化影响植物分布变化的研究很多，认为物种分布范围及范围大小会随着全球气温的升高逐渐向高纬度和高海拔迁移（Mccarty, 2001）。其适宜区面积可能增加，也可能减少，这与物种的生态位及立地条件有关（吴建国, 2010）。李垚等在研究气候变暖对中国栓皮栎（*Quercus variabilis*）地理分布格局的影响发现，栓皮栎潜在气候变暖趋势下其适宜分布区面积减小并有向北回缩的趋势（李垚等, 2014）。刘勤等研究气候变化下四川省植物的分布规律及迁移特征发现，大多数植物的适宜区分布范围向高纬度、高海拔迁移，特别是川西高原更为明显，原因可能是植物适应力及周边环境改变栖息地的分布（刘勤等，2016）。应凌霄等研究了中国西南地区清香木（*Pistacia weinmannifolia*）的潜在分布格局，结果表明在未来气候情景下，其分布都向东扩张，同时当前的潜在分布区趋于消失，适宜分布面积在中低大气二氧化碳浓度情景下均减少，而在高二氧化碳浓度情景下有所增加，其中温度季节性变化、极端低温和降水量是限制其分布的主要气候因子（应凌霄等, 2016）。Li et al. (2013)研究了中国 208 种地方性或濒危植物种对气候变化影响的脆弱性时得出半数物种(104 种)的适宜区面积将减少，而另一半种类的将增加，并发现大范围的迁移并不意味着物种的数量会同样减少，因为物种可以在新的栖息地移动和生存。然而，如果该物种的活动性较低，对大范围移动的预测表明该物种在未来可能面临风险。有研究者对美国东部森林 134 种植物种适宜区变化的预测也得到大约 66 种植物的栖息地面积将增加，54 种植物将在气候变化下失去至少 10%的适宜生境，其中用材物种如橡树栖息地面积的增加，可能是气候变化引起风暴干扰增加，引起林冠空隙增加、林内光照改善，从而使橡树增加生长和分布。而有许多北方树种如云杉冷杉在高排放情景下适宜区退缩，可能是在冷温带的北方地区，气候变暖使得落叶阔叶树生长期延长，而针叶树优势降低，森林向落叶阔叶树为优势的方向演化导致针叶树分布区收缩（Iverson et al., 2008）。

物种分布模型(species distribution models, SDM)是研究气候变化对物种分布格局影响的重要工具，近年来，这类模型在国内外得到了广泛的应用（Gelviz-Gelvez et al., 2015; Moor et al., 2015）。在众多物种分布模型（Bioclim、Climex、Domain、Garp、Maxent）中，Maxent 模型(maximum entropy model)是一个以最大熵理论为基础的密度估计和分布预测模型（Elith et al., 2010; Phillips et al., 2009），其模拟精度要高于其他模型，预测效果较好，在业内得到了广泛认可（Phillips et al., 2009）。此软件运行时需要以经纬度形式表示的物种当前分布点和物种未来分布区域的环境变量。Maxent 根据物种当前分布点和当前气候数据运算得出预测模型，再利用此模型模拟物种在未来气候状态下的分布。其中生态位保守性是使模拟未来气候下物种分布具有价值的理论前提（Webber et al., 2012）。

木姜子属作为重要的药用资源植物，其地理分布格局和生态适宜性鲜有报道，在气候变化情景下，物种的迁移、扩散及其对气候变暖的响应和适应尚待深入研究。本文选择分布区具有差别的木姜子属四种资源树种作为研究对象，研究其在全球气候变化下未来潜在适宜分布区的变化。山鸡椒在我国长江以南广泛分布，毛豹皮樟主要分布在中亚热带及北亚热带中部位置，分布相对偏北，华南木姜子主要分布在我国南亚热带区域，毛叶木姜子高适宜区主要集中分布在西部的贵州、重庆省内。同属不同种具有不同的分布区域，表明它们对气候的适应性有明显差别。由于气候变暖，分布区局限于热带和南亚热带的植物种，分布区可能向北移动。但是，中国北方冬天受北方寒流影响强烈，秦岭、中条山、大别山一线山脉是中国亚热带植物分布的北限。我们推测，亚热带广布种，南面受热带树种向北迁移的挤压，北面受生物地理的限制，分布区可能会收缩。我国亚热带西部是半湿润气候，局限分布在该地区的植物种在气候向干热化发展的情形下，它们的分布区可能向东迁移。因此本文根据我国木姜子属分布区具有代表性的四种资源树种分布数据，分析在未来气候变化情景下该四种资源植物分布格局的变化，为木姜子属植物以及近其它分布区相近的亚热带植物制定保护行动计划和开发时提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文选择分布区具有明显差异的木姜子属(*Litsea*)四种药用资源植物作为研究对象，山鸡椒（*Litsea cubeba*）含

有主要生物碱，有特定的阿朴酚、黄酮类以及木脂素，其根、茎、果在我国部分地区已广泛用作民间解风湿解寒、调经止痛的药物。该物种相关药理研究表明其具有抗心血管疾病、抗癌、抗类风湿性关节炎、平喘、抗过敏、抗氧化等功效（张水英, 2014）。毛豹皮樟（*L. coreana*）又名老鹰茶树，在我国南方作为一种植物代用茶，其总黄酮具有疾病防治、降低血糖、消炎的作用（吕雄文等, 2008; 王建青等, 2012）。华南木姜子（*L. greenmaniana*）具有阿朴菲型生物碱成分，但对其药理活性目前还尚未研究（姜明等, 2013）。毛叶木姜子（*L. mollis*）鲜果通过蒸馏可提取芳香油、油脂为制皂的上等原料，根和果实还可入药（邓家盛和马洪周, 1989; 周天达, 1995）。目前木姜子属植物入药达 17 种，药用价值较高（宁娜, 2012）。因此研究该属植物在国内的潜在分布及随气候变化的分布变化具有重要的意义。

木姜子属四种资源植物的分布记录源自于中国植物数字标本馆网站(http://www.cvh.ac.cn)以及已发表的专著中所记录的样地数据。参照中国在线植物志网站(http://www.eflora.cn)，对样地植物种名录进行校核。没有经纬度信息的样地点，根据地名通过 GoogleEarth 查询与样地记录相对应的经纬度信息。去除经纬度重复和地理坐标不详的标本信息，然后仅保留在 ArcGIS 10.3 中生成的 30 ″×30 ″的网格内距网格中心最近的一个点，主要是减少集群效应可能造成的模型过度拟合（关心怡等, 2018）。最终整理获得山鸡椒（488 条）、毛豹皮樟（92 条）、华南木姜子（59 条）、毛叶木姜子（186 条）植物的分布信息。

1.2 环境变量数据及预处理

从世界气候数据库(Worldclim, http://www.worldclim.org)中提取 19 个气候指标数据，记为 Bio1 到 Bio19(表 1)，以及公布的未来气候数据两个时间段，即 2041—2060 年和 2061—2080 年。在 IPCC 的第四次评估报告中，大多数缓解方案的重点是 2100 年稳定温室气体的辐射强迫力，所以本文选择未来较长一段时间即 2061—2080 年作为本文研究的未来气候数据，空间分辨率为 30 ″(1 km^2)。当代（1950—2000 年）和未来（2061—2080 年）的气候数据在国际热带农业中心(International Centre for Tropical Agriculture，CIAT)网站下载。使用 ArcGIS 10.3 的掩膜剪裁工具剪裁并提取 19 个在我国范围内的气候数据，将剪裁后的气候数据(栅格数据)转换为 ASCII 格式的数据，以满足 Maxent 模型的要求。未来气候数据采用新一代温室气体排放情景，即典型浓度目标(Representative concentration pathways，RCP)情景对未来可能的气候变化进行描述。RCP 情景包括 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 共 4 种，本研究仅选择 RCP2.6 和 RCP8.5 情景来预测最低、最高 CO2 浓度排放情景物种分布的情况。IPCC 根据不同的气候情景分析到：在 RCP2.6 情景下，二十一世纪中期以前温度在 2 ℃以内持续上升，辐射强迫在二十一世纪末之前达到最大，到二十一世纪末下降到 2.6 $W·m^{-2}$；在 RCP8.5 情景下，到二十一世纪末，温度随温室气体排放增加并持续上升，增温幅度将达到 5℃，辐射强迫上升至 8.5 $W·m^{-2}$（张华和黄建平, 2014）。研究表明，21 世纪中后期高排放情景下极端降水频次增加幅度高于低排放情景（陈红, 2017）。对于不同浓度路径的比较，RCP8.5 情景预计将比 RCP2.6 和 RCP4.5 情景下降水频次增加的更多，但这种增加并不随时间而稳定。

表 1 用于模拟木姜子属适生区域的气候因子

Table 1 Climatic factors used for simulating suitable area of *Litsea*

代码 Code	气候因子 Climatic factors
Bio1	年平均气温 Annual mean temperature（℃）
Bio2	昼夜温差月均值 Mean diurnal range[mean of monthly (max temp - min temp)] （℃）
Bio3	昼夜温差与年温差比值 Isothermality
Bio4	温度季节性变化方差 Temperature seasonality
Bio5	最暖月份最高温度 Max temperature of warmest month（℃）
Bio6	最冷月份最低温度 Min temperature of coldest month（℃）
Bio7	温度年变化范围 Temperature annual range（℃）
Bio8	最湿季度平均温度 Mean temperature of wettest quarter（℃）
Bio9	最干季度平均温度 Mean temperature of driest quarter（℃）
Bio10	最暖季度平均温度 Mean temperature of warmest quarter（℃）
Bio11	最冷季度平均温度 Meantemperature of coldest quarter（℃）
Bio12	年平均降水量 Annual precipitation（mm）

Bio13	最湿月份降水量 Precipitation of wettest month（mm）
Bio14	最干月份降水量 Precipitation of driest month（mm）
Bio15	降水量季节性变异系数 Precipitation seasonality (coefficient of variation)
Bio16	最湿季度降水量 Precipitation of wettest quarter（mm）
Bio17	最干季度降水量 Precipitation of driest quarter（mm）
Bio18	最暖季度降水量 Precipitation of warmest quarter（mm）
Bio19	最冷季度降水量 Precipitation of coldest quarter（mm）

1.3 模型拟合和精度验证

在 Maxent 软件中输入木姜子属四种资源植物的分布点数据和环境因子数据，选择刀切法(jackknife test)测定各变量权重，选择创建环境变量响应曲线，同时在设置基础栏随机选取 25%作为测试集，剩余 75%的分布点作为训练集验证模型，其余参数均选择模型的默认值（关心怡等, 2018）。将不同气候情景下 Maxent 模拟结果均导入 ArcGIS 10.3 中进行可视化处理。Maxent 软件模拟输出的结果值（范围 0~1）越接近 1 表示物种存在的可能性越大，反之越小。受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve)简称 ROC 曲线，曲线下面积值(area under curve, AUC)反映预测精度，输出值（范围 0.5~1）越接近 1 表示模型预测结果精度越高、结果越可靠，本研究采用该分析法对模拟结果进行精度评价（Wang et al., 2007）。本文运用最大熵模型的模拟结果较好，樟科木姜子属山鸡椒、毛豹皮樟、华南木姜子、毛叶木姜子验证集的 AUC 值分别为 0.90、0.94、0.98、0.93，结果表明模型预测可信度较高，可用于分析气候变化对木姜子属四种资源植物在中国分布的影响。参考 IPCC 报告(2007)关于评估可能性的划分方法，在 ArcGIS 10.3 中利用分类功能，划分分布值等级及相应分布范围，并使用不同颜色进行区分。划分标准为: 存在概率≥0.66 为高适宜区；0.33≤存在概率<0.66 为中适宜区；0.05≤存在概率<0.33 为低适宜区；存在概率<0.05 为不适宜区。本研究所示的高、中、低适宜区面积变化百分比表示在未来不同气候情景下，某物种的高、中、低适宜区面积变化分别与当前气候状态下的高、中、低适宜区面积的比例，总百分比变化为未来高、中、低适宜区面积变化百分比的总和。适宜区面积变化百分比是指未来不同气候情景下的总适宜区面积变化与当前气候状态下总适宜区面积的比值。

2 结果与分析

2.1 木姜子属在当前气候条件下的分布区预测

根据物种气候适宜区的划分标准，得到木姜子属四种植物在当前气候状态下天然适宜区的分布图（图 1，表 2）。山鸡椒主要广泛分布于广大的热带亚热带地区，总适宜区面积为 227.69×10^4 km^2。其中，中适宜区分布最广泛、面积最高，为 184.06×10^4 km^2。毛豹皮樟主要分布在我国亚热带区域，高适宜区主要集中分布在中亚热带及北亚热带中部位置的大巴山、巫山等地，相较于其它几种分布较北，其中低适宜区面积最高为 111.91×10^4 km^2，中适宜区面积次之，为 103.27×10^4 km^2，高适宜区面积为 13.65×10^4 km^2。华南木姜子主要分布在我国南亚热带区域，高适宜区在广东、广西、福建呈带状分布，面积为 10.23×10^4 km^2，低适宜区面积为 10.09×10^4 km^2，中适宜区面积为 39.53×10^4 km^2。毛叶木姜子与山鸡椒的在分布范围上非常相似，但毛叶木姜子高适宜区主要集中分布贵州、重庆省内，面积为 16.14×10^4 km^2，低适宜区、中适宜区面积分别为 153.44×10^4 km^2，83.69×10^4 km^2。

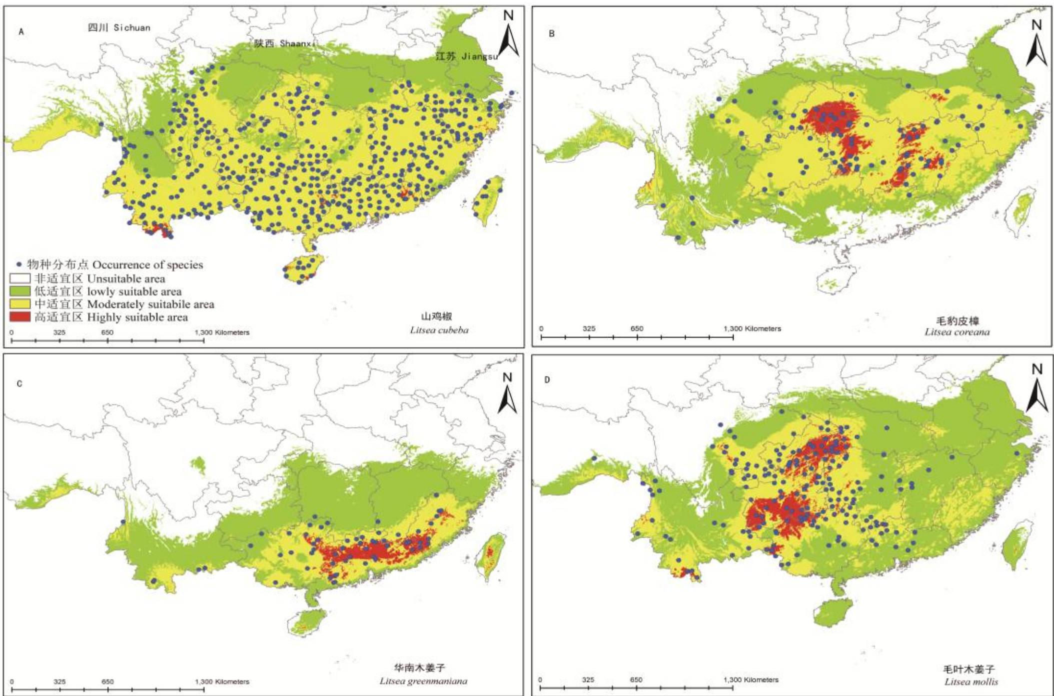


图 1 当前气候下木姜子属四种植物潜在适宜分布图

Fig.1 Potentially suitable distribution maps of four *Litsea* species in the current climate

表 2 当前气候情景下木姜子属四种植物适生面积

Table2 Suitable area of four *Litsea* species in the current climate

种名 Species	面积 Area (10^4 km^2)			
	低适宜区 Lowly suitable area	中适宜区 Moderately suitabile area	高适宜区 Highly suitable area	总面积 Total area
山鸡椒 *L. cubeba*	91.68	184.06	1.95	227.69
毛豹皮樟 *L. coreana*	111.91	103.27	13.65	228.83
华南木姜子 *L.greenmaniana*	100.09	39.53	10.23	149.84
毛叶木姜子 *L. mollis*	153.44	83.69	16.14	253.27

通过 Maxent 模型刀切法得出各气候因子对模拟木姜子属四种植物分布的贡献率及其在当前气候下的均值（表3）。发现山鸡椒的分布主要受年平均降水量(Bio12)、最干月份降水量(Bio14)的影响，贡献率分别为 42%、37.1%，累计贡献率为 79.1%，其分布区年降水和最干月降水均值分别为 1 444.03 27.95 mm；毛豹皮樟分布主要受最干月份降水量(Bio14)、年平均降水量(Bio12)的影响，贡献率分别为 59.7%、23.7%，均值分别为 31.16 、1 392.30 mm；最冷季度降水量 (Bio19)、年平均降水量(Bio12)、最干季度降水量(Bio17)对华南木姜子的贡献较大，分别为 27.9%、25.7%、21.2%，其主导气候因子均值为 158.18 、1 635.96 、124.664 mm；毛叶木姜子的主要影响因子为最干月份降水量(Bio14)、年平均降水量(Bio12)、最暖月份最高温度(Bio5)，累计贡献率为 90.5%，其中最干月份降水量、最暖月份最高温度均值为 25.64 mm、28.93 °C；该属四种资源植物山鸡椒、毛豹皮樟、华南木姜子主要受降水量的影响，而毛叶木姜子主要受降水和温度的影响。

表 3 木姜子属四种植物当前分布区各主导气候因子的均值

Table 3 Average values of the dominant factors in the present distribution areas of four *Litsea* species

气候因子 Climatic factors	山鸡椒 *L. cubeba*	毛豹皮樟 *L. coreana*	华南木姜子 *L. greenmaniana*	毛叶木姜子 *L. mollis*
年平均降水量（mm） Annual precipitation	1 444.03	1 392.30	1 635.96	1 344.70
年平均气温（℃） Annual mean temperature	17.38	15.66	19.16	16.19
最暖月份最高温度（℃） Max temperature of warmest month	29.88	29.66	31.14	28.93
最冷月份最低温度（℃） Min temperature of coldest month	3.97	0.90	6.27	2.21
最干月份降水量（mm） Precipitation of driest month	27.95	31.16	34.07	25.64
最湿季度降雨量（mm） Precipitation of wettest quarter	694.54	638.70	772.22	645.23
最干季度降水量（mm） Precipitation of driest quarter	104.80	116.10	124.64	92.85
最冷季度降水量（mm） Precipitation of coldest quarter	122.95	129.45	158.18	101.37

2.2 木姜子属在未来气候情景下的分布预测

山鸡椒在未来时段（2061—2080 年）RCP2.6、RCP8.5 两种气候情景下适生区面积分别减少 11.14×10^4、1.24×10^4 km^2，该面积变化与当前气候状态下的适生区面积的比值分别为-4.9%、-0.5%。从该物种面积变化百分比来看，山鸡椒适宜区面积总百分比变化分别为 107.1%、154.9%，主要表现为高适宜区、低适宜区面积的增加，尤其是高适宜区，因为基底面积小，在未来时段两种情景下分别增加近 1.2 倍、1.6 倍，新增面积主要沿南亚热带区域分布（图 2，表 4）。

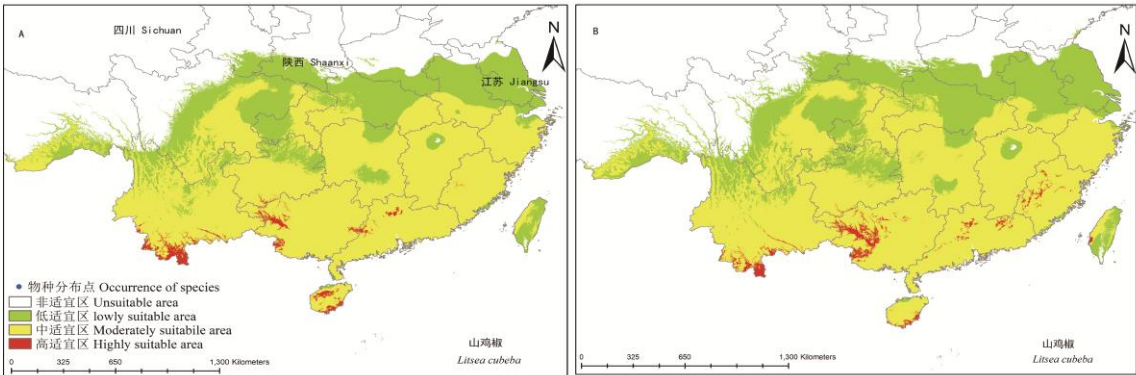


图 2 山鸡椒在 2061—2080 年时段下的潜在分布图（A：RCP2.6；B：RCP8.5）

Fig. 2 Potential distribution map of *Litsea cubeba* in the future 2061—2080 period (A: RCP2.6; B: RCP8.5)

毛豹皮樟主要分布在以重庆、贵州、湖南为主的省份，在两种（RCP2.6、RCP8.5）二氧化碳浓度情景下未来 2061—2080 年适生区面积总体呈现增加的趋势，分别增加 12.8×10^4 、1.24×10^4 km^2，增加的面积与当前气候状态下的总适宜区面积比为 5.6%、4.5%。在两种气候情景下，未来分布区总面积变化分别为 8.7%、-2.6%。主要表现为中、低适宜区面积的增加，但是，高适宜区面积的减少（图 3，表 4）。

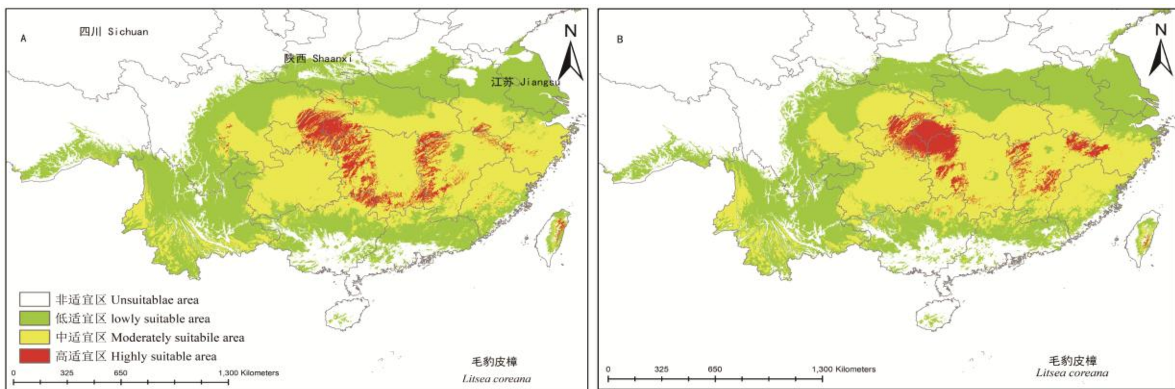


图 3 毛豹皮樟在 2061—2080 年时段下的潜在分布图（A：RCP2.6；B：RCP8.5）

Fig. 3 Potential distribution map of *Litsea coreana* in the future 2061—2080 period (A: RCP2.6; B: RCP8.5)

在 RCP2.6、RCP8.5 气候变化情景下，华南木姜子、毛叶木姜子 2061—2080 年适生面积均呈现出减少的趋势。华南木姜子在 RCP2.6、RCP8.5 情景下适生区面积分别减少 1.47×10^4 、8.39×10^4 km^2，即其面积变化与当前适宜区面积相比，面积减少 1.0%、5.6%，分布区总面积变化百分比分别为-1.1%、-16.1%，而高适宜区面积分别增加 0.38×10^4、0.10×10^4 km^2，主要分布在南亚热带及中亚热带区域，高适宜区主要以广西、广东为主。与当前适宜区面积相比，毛叶木姜子适宜生境面积分别减少了 8.32×10^4 km^2（3.3%）、21.08×10^4 km^2（8.3%），分布区总面积变化百分比分别为-12.0%、-14.5%，主要表现为高适宜区、低适宜区面积的减少，主要分布在广西北部，贵州西部和重庆，与当前气候状态下分布区域相比，未来气候下的分布区有向北迁移的趋势（图 4，表 4）。

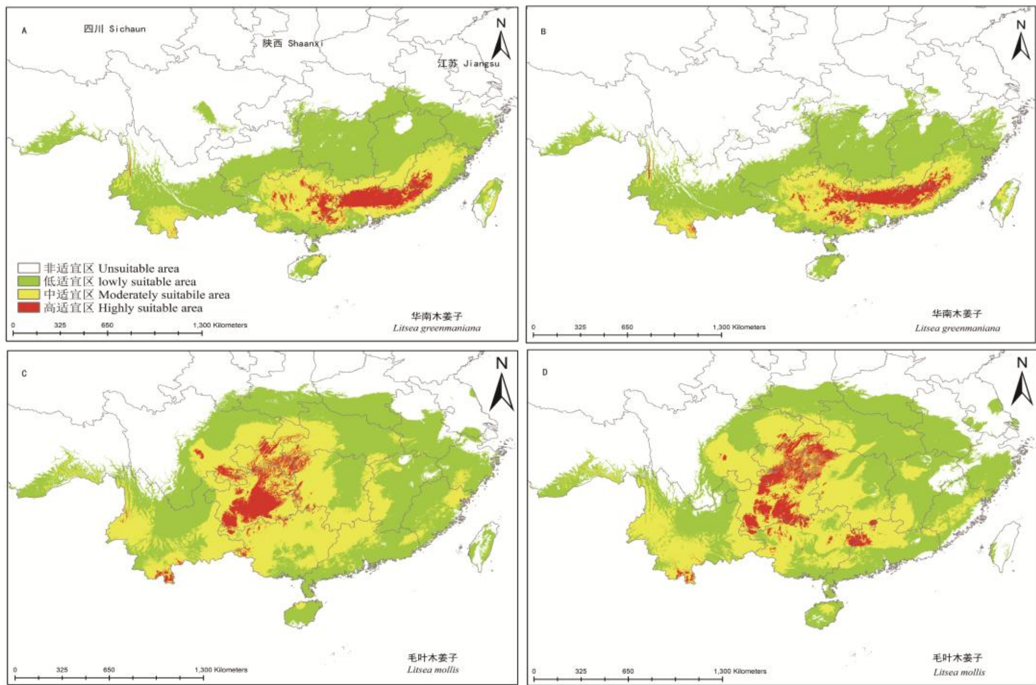


图 4 华南木姜子、毛叶木姜子在 2061—2080 年时段下的潜在分布图（A,C: RCP2.6; B,D: RCP8.5）

Fig. 4 Potential distribution map of *Litsea greenmaniana* and *L. mollis* between 2061—2080 (A,C: RCP2.6; B,D: RCP8.5)

表 4 不同气候变化情景下木姜子属四种植物适生区域的变化

Table 4 Changes in suitable area of four *Litsea* species under different climate scenarios

物种 Species	情景 Scenario	面积变化 Area change (10^4 km^2)				面积变化百分比 Percentage of area change (%)			
		低适宜区 Lowly	中适宜区 Moderatel	高适宜区 Highly	总面积变化	低适宜区 Lowly	中适宜区 Moderate	高适宜区 Highly	总面积变化百分比

		suitable area	y suitabile area	suitable area	Total area change	suitable area	ly suitabile area	suitable area	Percentage of total area change
山鸡椒	RCP2.6	-8.86	-4.61	2.33	-11.14	-9.7	-2.5	119.3	107.1
L. cubeba	RCP8.5	0.94	-5.24	3.06	-1.24	1.0	-2.8	156.7	154.9
毛豹皮樟	RCP2.6	8.16	5.13	-0.48	12.81	7.3	5.0	-3.5	8.7
L. coreana	RCP8.5	7.25	5.05	-1.90	10.40	6.5	4.9	-13.9	-2.6
华南木姜子	RCP2.6	0.07	-1.93	0.38	-1.47	0.1	-4.9	3.7	-1.1
L. greenmaniana	RCP8.5	-2.90	-5.59	0.10	-8.39	-2.9	-14.1	1.0	-16.1
毛叶木姜子	RCP2.6	-18.66	12.77	-2.43	-8.32	-12.2	15.3	-15.1	-12.0
L. mollis	RCP8.5	-30.31	10.39	-1.16	-21.08	-19.8	12.4	-7.2	-14.5

3 讨论与结论

本文研究木姜子属四个资源树种的分布区预测发现，每个树种对气候的响应各不相同，在当前气候条件下，山鸡椒分布于广大的热带亚热带地区；毛豹皮樟主要分布在我国亚热带区域，高适宜区主要集中分布在中亚热带及北亚热带中部位置，相较于其它种分布偏北；华南木姜子主要分布在我国东部南亚热带区域；毛叶木姜子与山鸡椒的在分布区域上非常相似，但毛叶木姜子高适宜区主要集中分布贵州、重庆省内。其中山鸡椒、华南木姜子分布范围主要受降水量的影响，这与这几种植物喜湿润、不耐旱和贫瘠的特性相一致。而毛豹皮樟、毛叶木姜子的分布主要受降水量和温度的影响，一方面可能是因为毛豹皮樟具有灰黄色长柔毛可减少蒸腾作用，防止水分散失。毛叶木姜子适生于上层深厚、排水良好的酸性红壤、黄壤以及山地棕壤的特性有关。另一方面，中国中南部是全球生物多样性热点之一，该地区没有遭受与冰期有关的低温和极端干旱，部分原因是其地形复杂，与中国其他地区相比降温较慢，中国中南部和西南部的山脉有着相对稳定的长期环境，因此，这些物种受地质时期气候波动的影响较小，得以维持在该地区的持续存在，并在气候条件适宜时向外扩展栖息地，这些地方被称为更新世冰川期避难所（López-Pujol et al., 2006; Qiu & Fu, 2011）。

一些植物可以通过改变其分布范围来应对气候变暖的变化。然而，不同的植物可能具有不同的扩散能力。在未来 2061—2080 年时段下 RCP2.6、RCP8.5 两种排放情景气候数据模拟气候变化对木姜子属四种植物潜在适宜生境分布的影响，结果表明：山鸡椒在未来时段（2061—2080 年）两种（RCP2.6、RCP8.5）二氧化碳浓度情景下适生区面积总体呈现减少的趋势，但其潜在分布区总面积变化百分比却达到了原来的 1.2、1.6 倍，主要表现为高适宜区面积增加的比例较大，主要沿南亚热带区域分布。可能的原因是受到未来土地利用变化的影响，华南沿海一带受到异常西南风控制，热带印度西南季风和南海季风均偏强，来自南海和印度洋的异常水汽辐合使得降水偏多（华文剑等, 2015）。毛豹皮樟在未来 2061—2080 年两种二氧化碳浓度排放情景下适生区面积总体呈现增加的趋势，主要分布在重庆、贵州、湖南省份，相较于其它几种，分布较北。可能的原因是全球气候变暖趋势下，北半球中高纬度大部分地区降水强度增加明显，而中低纬度部分地区干旱日数将可能增加的原因（赵宗慈等, 2008）。而温度通常被认为是纬度梯度上物种多样性模式的主要驱动因素（Qian & Ricklefs, 2011），温度变暖，有利于喜暖性的植物的扩张。另一方面可能是中国的滇西横断山脉地区、粤桂湘赣南岭山地和湘川鄂边境地区是重要的生物避难所，复杂的地理环境使得未来气候的变化对该区域物种生存影响较小（王献溥和刘玉凯, 1994）。生态位宽度越大的种，对环境的适应能力越强，对资源的利用能力也越强（Ying et al., 2016）。

在 2061—2080 年未来气候变化情景下，华南木姜子、毛叶木姜子在 RCP2.6、RCP8.5 情景下适生面积均呈现出减少的趋势。华南木姜子主要分布在南亚热带及中亚热带的湿润区域，高适宜区主要以两广省份为主，可能原因是随未来气候的变化华南地区的温度上升而降水减少，以及极端高温事件发生频率明显升高导致该种的适宜分布区减少（黄晓莹等, 2008）。而毛叶木姜子主要分布在广西北部，贵州西部和重庆，相较于当前气候分布格局，在未来状态下有向北迁移的趋势。可能是因为分布区主要受降水和温度的影响，在未来年平均温度增加的情况下，达到了适宜毛叶木姜子分布的极限温度，因此向北迁移。在环境温度变化很小的热带地区进化的物种往往具有喜热性，且对温度适应的范围较窄。相比之下，在环境温度变化较大的地区（如温带地区）进化的物种的温度适应幅度较宽（Sheldon

et al., 2011），这与本文研究结果一致。

近年来，Maxent 模型被广泛应用于物种潜在适宜区分布的预测模型中，本文利用该模型较好地模拟了气候变化下木姜子属四种资源植物的适宜区变化。研究结果对于木姜子属资源植物的未来栽培管理有一定的指导意义。由于所选木姜子属四种资源树种均属于亚热带植物，对气候的要求在一定程度上有很大的相似之处，主要是存在东西部区域的差异。但从总体上来说，在未来气候变化下，木姜子属四种资源植物的潜在分布变化与前人预测热带亚热带植物的结果（半数物种的分布范围将减少，而另一半种类的分布范围将增加；大体有向北迁移的趋势）基本一致（Boisvert-Marsh et al., 2014; Mckenney et al., 2011; Li et al., 2013）。在使用模型方面，Maxent 模型与其他分布模型一样具有很强的预测能力，但是模型预测不可避免地存在一定的局限性。同时，本研究物种的适宜区域预测主要是基于气候，但土壤、海拔和土地利用对物种分布也很重要，所以，在未来预测中还应注重考量各种因素相互作用的影响，以及结合物种的模型，以改善模型的预测结果。

参考文献：

ALLEN SK, PLATTNER GK, NAUELS A, et al., 2007. Climate change 2013: The physical science basis. An overview of the working group 1 contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC) [J]. Comput Geom, 18(2): 95-123.

BELLARD C, BERTELSMEIER C, LEADLEY P, et al., 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity [J]. Ecol Lett, 15(4): 365-377.

BOISVERT-MARSH L, CATHERINE P, BLOIS SD, 2014. Shifting with climate? Evidence for recent changes in tree species distribution at high latitudes [J]. Ecosphere, 5(7): art83.

CHEN H, 2017. Simulation and estimation of extreme precipitation event frequency in the middle-lower reaches of Yangtze river using statistical downscaling method [J]. Resour Environ Yangtze Basin, 26(05): 126-132. [陈红，2017. 长江中下游夏季极端降水事件频次的统计降尺度模拟与预估 [J]. 长江流域资源与环境，26(05)：126-132.]

DENG JS, MA HZ, 1989. Artificial cultivation and oil extraction test of *Litsea mollis* [J]. J Sichuan For Sci Technol, (1):69-71. [邓家胜，马洪周，1989. 毛叶木姜子人工栽培及提油试验 [J]. 四川林业科技，(1)：69-71.]

ELITH J, GRAHAM CH, ANDERSON RP, et al., 2010. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography, 29(2):129-151.

GELVIZ-GELVEZ SM, PAUÓN, NUMA P, et al., 2015. Ecological niche modeling under climate change to select shrubs for ecological restoration in Central Mexico [J]. Ecol Eng, 74: 302-309.

GUAN XY, SHI W, CAO KF, 2018. Effect of climate change in future on geographical distribution of widespread *Quercus acutissima* and analysis of dominant climatic factors [J]. J Trop Subtrop Bot, 26(06): 105-112. [关心怡，石慰，曹坤芳，2018. 未来气候变化对广布种麻栎地理分布的影响和主导气候因子分析 [J]. 热带亚热带植物学报，26(06)：105-112.]

HUA WJ, CHEN HS, LI X, 2015. Effects of future land use change on the regional climate in China [J]. Sci Chin: Earth Sci, 45(7): 1034-1042. [华文剑，陈海山，李兴，2015. 未来土地利用变化影响中国区域气候的数值模拟 [J]. 中国科学: 地球科学，45(7)：1034-1042.]

HUANG XY，WEN ZP，DU YD, et al., 2008. Scenario analyses on the changes of future surface air temperature and precipitation in south China [J]. J Trop Meteoral, 24(3): 254-258. [黄晓莹，温之平，杜尧东，等，2008. 华南地区未来地面温度和降水变化的情景分析 [J]. 热带气象学报，24(3)：254-258.]

IVERSON LR, PRASAD AM, MATTHEWS SN, et al., 2008. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios [J]. Forestecol Manag, 254(3): 400-406.

JIANG M, LIN S, GUO QL, 2013. Chemical constituents from *Litsea greenmaniana* [J]. Chin J Chin Mat Med, 38(7): 75-78. [姜明，林生，郭庆兰，等，2013. 华南木姜子的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志，38(7)：75-78.]

LI XH, TIAN HD, WANG Y, et al., 2013. Vulnerability of 208 endemic or endangered species in China to the effects of climate change [J]. Reg Environ Chang, 13(4): 843-852.

LI Y, ZHANG XW, FANG YM, 2014. Predicting the impact of global warming on the geographical distribution pattern of

Quercus variabilis in China [J]. Chin J Appl Ecol, 25(12): 3381-3389. [李垚，张兴旺，方炎明，2014. 气候变暖对中国栓皮栎地理分布格局影响的预测 [J]. 应用生态学报， 25(12)：3381-3389.]

LIU Q, WANG YK, PENG PH, 2016. Characteristics of distribution and migration of species in Sichuan under the climate change [J]. Mt Res, 34(6): 716-723. [刘勤，王玉宽，彭培好，等，2016. 气候变化下四川省物种的分布规律及迁移特征 [J]. 山地学报，34(6)：716-723.]

LÓPEZ-PUJOL J, ZHANG FM, SONG G, 2006. Plant biodiversity in China: Richly varied, endangered, and in need of conservation [J]. Biodivers Conserv, 15(12): 3983-4026.

LÜ XW, LI J, ZOU YH, et al., 2008. Experimental study on hypoglycemic effect of total flavonoids of *Litsea coreana* [J]. Chin J Trad Med Sci Technol, 15(2): 119-121. [吕雄文，李俊，邹宇宏，等，2008. 老鹰茶总黄酮降血糖作用的实验研究 [J]. 中国中医药科技，15(2)：119-121.]

MCCARTY JP, 2001. Ecological consequences of recent climate change [J]. Conserv Biol, 15(2): 320–331.

MCKENNEY DW, PEDLAR JH, LAWRENCE K, et al., 2007. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees [J]. Bioscience, 57(11): 939-948.

MCKENNEY DW, PEDLAR JH, ROOD RB, et al., 2011. Revisiting projected shifts in the climate envelopes of North American trees using updated general circulation models [J]. Glob Change Biol, 17(8): 2720-2730.

MOOR H, HYLANDER K, NORBERG J, 2015. Predicting climate change effects on wetland ecosystem services using species distribution modeling and plant functional traits [J]. AMBIO, 44(1): 113-126.

NING N, 2012. Review of present research situation on *Litsea* plants [J]. J Kaili Univ, 30(6): 38-42. [宁娜，2012. 木姜子属植物的研究现状 [J]. 凯里学院学报，30(6)：38-42.]

PHILLIPS SJ, DUDIK M, ELITH J, et al., 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data [J]. Ecol Appl, 19(1): 181-197.

QIAN H, RICKLEFS RE, 2011. Latitude, tree species diversity and the metabolic theory of ecology [J]. Global Ecol Biogepgr, 20(2): 362-365.

QIU YX, FU CX, COMES HP, 2011. Plant molecular phylogeography in China and adjacent regions: Tracing the genetic imprints of Quaternary climate and environmental change in the world's most diverse temperate flora [J]. Mol Phylogenet Evol, 59(1): 225-244.

SHELDON KS, YANG S, TEWKSBURY JJ, 2011. Climate change and community disassembly: Impacts of warming on tropical and temperate montane community structure [J]. Ecol Lett, 14(12): 1191-1200.

THUILLER W, LAVERGNE S, ROQUET C, et al., 2011. Consequences of climate change on the tree of life in Europe [J]. Nature, 470(7335):531-534.

VELOZ SD, WILLIAMS JW, BLOIS JL, et al., 2012. No-analog climates and shifting realized niches during the late quaternary: Implications for 21st-century predictions by species distribution models [J]. Glob Chang Biol, 18(5): 1698-1713.

WANG JQ, LI J, ZHOU YH, et al., 2012. Therapeutic effects of total flavonoids of *Litsea coreana* leve on nonalcoholic steatohepatitis and its partly mechanisms of action [J]. Chin Pharmacol Bull, 28(3): 412-416. [王建青，李俊，邹宇宏，等，2012. 豹皮樟总黄酮对非酒精性脂肪性肝炎治疗作用及部分机制 [J]. 中国药理学通报，28(3)：412-416.]

WANG XP, LIU YK, 1994. Theory and practice of biodiversity [J]. Beijing: China Environmental Science Press. [王献溥，刘玉凯，1994. 生物多样性的理论与实践 [J]. 北京：中国环境科学出版社.]

WANG YS, XIE BY, WAN FH, et al., 2007. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models [J]. Biodivers Sci, 15(4): 365-372.

WEBBER BL, LE MAITRE DC , KRITICOS DJ., 2012. Comment on "Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders" [J]. Science, 335(6074):1344-8.

WU JG, 2010. Potential effects of clmiate change on the distribution of seven protected plants in China [J]. J Wuhan Bot Res, 28(4):437-452.[吴建国，2010. 气候变化对 7 种保护植物分布的潜在影响 [J]. 武汉植物学研究，28(4)：437-452.]

YING LX, LIU Y, CHEN ST, 2016. Simulation of the potential range of *Pistacia weinmannifolia* in Southwest China with

climate change based on the maximum-entropy (Maxent) model [J]. Bio Sci, 24(4): 453-461. [应凌霄，刘晔，陈绍田，2016. 气候变化情景下基于最大熵模型的中国西南地区清香木潜在分布格局模拟 [J]. 生物多样性，24(4)：453-461.]

ZHANG H, HUANG JP, 2014. Interpretation of artificial and natural radiation forcing in the fifth assessment report of the IPCC[J]. Adv Clim Chang Res, 10(1): 40-44. [张华，黄建平，2014. 对 IPCC 第五次评估报告关于人为和自然辐射强迫的解读 [J]. 气候变化研究进展，10(1)：40-44.]

ZHANG SY, 2014. A phytochemical and pharmacological advance on medicinal plnt *Litsea cubeba*(Lauraceae) [J]. Chin J Chin Mat Med, 39(5): 769. [张水英，2014. 樟科药用植物山鸡椒的化学成分和药理活性研究进展 [J]. 中国中药杂志，39(5)：769.]

ZHAO ZC, LUO Y, JING Y, et al., 2008. Assessment and prediction of precipitation and droughts/floods change over the world and in China [J]. Sci Technol Rev, 26(6): 28-33. [赵宗慈，罗勇，江滢，等，2008. 全球和中国降水、旱涝变化的检测评估 [J]. 科技导报，26(6)：28-33.]

ZHOU TD, 1995. Studies on antibechic and expectorant effects and chemical componentsof volatile oil from *Litsea Mollifolia* Chun flores [J]. Chin J Mod Appl Pharm, (3): 16-17. [周天达，1995. 毛叶木姜子花挥发油及其镇咳祛痰作用的研究 [J]. 中国现代应用药学，(3)：16-17.]